


УДК 691.326

Научная статья

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-49-56



Экспериментально-теоретическое обоснование целесообразности использования индивидуальных свойств фибропенобетона в сейсмостойком строительстве

Л.В. Моргун ✉, **А.С. Порохня**


Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉konst-lvm@yandex.ru

Аннотация

Введение. На основе эволюционного анализа целесообразности применения легких бетонов в сейсмостойком строительстве, показано, что развитие перечисленных технологий способствует снижению материалоемкости строительного комплекса и росту долговечности зданий при воздействии на них сейсмических нагрузок. Непрерывно осуществляется поиск эффективных решений для строительства сейсмоустойчивых зданий, отмечаются причины сокращения номенклатуры энергоэффективных изделий из автоклавного газобетона. Целью исследования является формирование перечня современных технологических приемов, позволяющих добиться повышения сейсмоустойчивости зданий.

Материалы и методы. Приведены перечень и свойства сырьевых материалов, использованных для изготовления пенобетонных смесей по одностадийной технологии. Указан перечень оборудования, примененного при оценке механических свойств исследуемых материалов.

Результаты исследования. Получены новые экспериментальные данные о существенном влиянии индивидуальных свойств фибры на величину предельной деформативности дисперсно армированных пенобетонов и их прочность на растяжение при изгибе. Подтверждено положительное влияние длинны фибры на механические свойства пенобетонов. Отмечено значимое положительное влияние дисперсного армирования на однородность проявления механических свойств в объеме пенобетона.

Обсуждение и заключение. Выполненная работа показала, что индивидуальные свойства фибры являются важным инструментом управления эксплуатационными свойствами пенобетонов. На итоговые свойства газонаполненного каменного материала оказывают влияние длина волокон и их предельная деформативность. Длина фибры важна для показателей прочности на растяжение при изгибе, а предельная растяжимость управляет величиной этого параметра в композиционном материале.

Ключевые слова: легкий бетон, фибра, пенобетон, прочность на растяжение при изгибе, предельная растяжимость

Благодарности: Авторы выражают благодарность за участие в формовании экспериментальных образцов студентам и магистрантам инженерно-строительного факультета ДГТУ.

Для цитирования: Моргун Л.В., Порохня А.С. Экспериментально-теоретическое обоснование целесообразности использования индивидуальных свойств фибропенобетона в сейсмостойком строительстве. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(3):49–56. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-49-56

Original article

Experimental and Theoretical Justification of the Foam Fiber-Reinforced Concrete Application Expediency in Earthquake-Resistant Construction

Lyubov V. Morgun , **Aksinya S. Porokhnya** 

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉konst-lvm@yandex.ru

Abstract

Introduction. Based on the evolutionary approach to the analysis of the lightweight concrete application expediency in earthquake-resistant construction it has been revealed that development of the above mentioned technologies fosters the

reduced material consumption in construction and the increased durability of buildings under the seismic loads. The efficient solutions for constructing the earthquake-resistant buildings are constantly searched for, and the reasons for reducing the range of energy-efficient products made of the autoclaved aerated concrete are noticed. The research is aimed at compiling an inventory of modern technological methods of increasing the buildings seismic resistance.

Materials and Methods. The list and properties of raw materials used for single-stage technology manufacture of the foam concrete mixtures have been provided. The list of equipment used for assessing the studied materials' mechanical properties has been defined.

Results. The new experimental data confirming the significant influence of the individual properties of fiber on the value of the dispersedly reinforced foam concrete ultimate deformability and bending tensile strength has been obtained. The positive effect of the length of fiber on the foam concrete mechanical properties has been confirmed. The considerably positive effect of the dispersed reinforcement on the homogeneity of mechanical properties observed in the foam concrete mass has been distinguished.

Discussion and Conclusions. The work performed has elucidated the importance of the individual properties of fiber as a tool for managing the operational properties of foam concrete. The ultimate properties of the aerated rock material are influenced by the length of fibers and their ultimate deformability. The length of fiber is important for the bending tensile strength, whereas the values of this parameter in the composite material are regulated by the ultimate extensibility.

Keywords*:* lightweight concrete, fiber, foam concrete, bending tensile strength, ultimate extensibility

Acknowledgements. The authors express their gratitude to undergraduate and master's students of the Civil Engineering Faculty of DSTU for participation in manufacturing of the experimental samples.

For citation. Morgun LV, Porokhnya AS. Experimental and Theoretical Justification of the Foam Fiber-Reinforced Concrete Application Expediency in Earthquake-Resistant Construction. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(3):49–56. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-49-56

Введение. В феврале 2023 года планета пережила мощное землетрясение в малой Азии, в результате которого огромное количество людей утратило жилье. Строительство, как одна из важнейших областей материального производства, предназначено для защиты живых организмов от негативных воздействий среды обитания и является самым крупным потребителем [1, 2] материальных ресурсов планеты. Ежегодно в мире происходят землетрясения, которые приводят к разрушениям зданий и человеческим жертвам. Часть из них можно отнести к землетрясениям регионального масштаба, а большинство являются просто разрушительными толчками, которые фиксируются как чрезвычайные ситуации и наносят ощутимый вред народному хозяйству страны и населению [3].

Учитывая тот факт, что на 1 января 1900 года на Земле проживало 2 миллиарда человек, а на 16 ноября 2022 года их стало уже 8 миллиардов, потребность в зданиях различного назначения остается большой. Следовательно, строительные науки должны, с одной стороны, находить пути снижения материалоемкости строительных объектов, а с другой — создавать их устойчивыми по отношению к сдвигам земной коры.

Решение обозначенных проблем может находиться в разных плоскостях. Так, например, разнообразные технологические приемы, обеспечивающие повышение прочности бетонов, применяемых для несущих конструкций зданий, способствуют повышению их сейсмоустойчивости [4–6]. Расчеты, выполняемые при проектировании сейсмоустойчивых строительных объектов, кроме требований к прочности материалов, из которых они возводятся, крайне чувствительны к особенностям распределения нагрузок на несущие элементы зданий и их общей массе. К перечню факторов, оказывающих важнейшее влияние на сейсмостойкость сооружений, специалисты относят:

– грунтовые условия площадки строительства;
– методы расчета зданий на сейсмические воздействия;
– конструктивные особенности объекта и способы сейсмоизоляции его несущих конструкций.

Анализ особенностей сейсмостойкого проектирования [7, 8], используемого в различных странах мира, показывает, что любой из применяемых способов учитывает тот факт, что при прочих равных условиях, способность сооружения сохранить свою форму и назначение, защищать людей от травм корреляционно зависит от массы строительных конструкций (таблица 1).

Специалисты, анализирующие результаты чрезвычайных ситуаций отмечают, что абсолютное большинство жертв, возникающих при землетрясениях, образуется в результате крупнообломочного разрушения конструкций зданий. Именно поэтому необходимо уделять особое внимание свойствам материалов, влияющих на сейсмоустойчивость сооружений, возводимых в тектонически опасных регионах не только по показателям материалоемкости (таблица 1), но и по особенностям их разрушения при утрате несущей способности.

Таблица 1

Правила учета размера сейсмических сил при проектировании в различных странах мира

Страна	Перечень сил, учитываемых в сейсмических расчетах
РФ	Сейсмическая нагрузка на конструкции зависит от **массы** здания
Китай	Сдвиг зависит от коэффициента сейсмического влияния и **веса** здания
Япония	При землетрясении сдвиг зависит от **веса** здания. Кроме того, сдвиг зависит от коэффициента структурной характеристики, который учитывает влияние **пластичности сооружения**, и от коэффициента, **учитывающего** эксцентриситеты приложения нагрузок и вертикальную жесткость здания
Европа	Сдвиговые перемещения и сейсмические силы зависят от **спектрального** отклика и фундаментального периода конструкции
США	Сдвиг зависит от **сейсмического веса**, фактора сейсмической опасности и от коэффициента ответа

Поиск эффективных решений для строительства сейсмоустойчивых зданий показал, что замена железобетона легкими стальными тонкостенными конструкциями (ЛСТК) обеспечивает лучшую сейсмоустойчивость строительных объектов [8]. Требуемый практикой эффект достигается за счет проявления стальным каркасом повышенной, по сравнению с традиционными видами бетонов, деформативности.

Снижение плотности бетонов, используемых для возведения сейсмоустойчивых зданий, при обеспечении требуемого уровня прочности, позволяет существенно повышать их этажность и безопасность. Развитие технологий легких бетонов (слитной и ячеистой структур) позволило в XX веке успешно решить ряд урбанистических и других проблем крупных городов [9].

Одними из первых, кто понял важность уменьшения материалоемкости строительных конструкций при достижении амбициозных архитектурных и строительных целей были древние римляне. После завершения гражданской войны и полного разрушения «золотого» дворца императора Нерона в I веке нашей эры для удовлетворения зрелищных потребностей граждан Рима был построен Колизей. Фактором, способствующим сейсмоустойчивости этого сооружения до настоящего времени, является применение легкого бетона, уложенного в конструкции ограждений [10]. Чуть позже, во II веке, после землетрясения, разрушившего «храм всех богов», у Пантеона появился купол, выполненный из армированного легкого бетона. Перечисленные примеры отражают важность индивидуальных свойств материалов для успешного их применения в строительных конструкциях.

Газонаполненные бетоны запатентованы на рубеже XIX и XX веков[1] и как материалы, пригодные для возведения стен зданий в практике строительства впервые стали применяться в первой трети XX века. Сначала это были пенобетоны плотностью 1000–1200 кг/м^3, а затем газосиликаты плотностью 700–900 кг/м^3 [11].

Научные исследования, направленные на совершенствование эксплуатационных свойств ячеистых бетонов [11, 12], выполненные в начале и середине прошлого века, позволили после завершения Второй мировой войны обеспечить Европу и СССР дешевым жильем, которое успешно продолжает эксплуатироваться и в настоящее время. Почти до 80-х годов XX века из автоклавного газосиликата стройиндустрия поставляла на стройплощадки [13]:

- крупноразмерные стеновые панели;
- плиты перекрытий;
- мелкоштучные блоки.

Перечисленная номенклатура изделий выпускалась преимущественно из газобетонов марки D600.

В XXI веке освоенные технологии автоклавного газосиликата перестали обеспечивать возможность изготовления крупноразмерных панелей потому, что требуемое практикой увеличение толщины ограждающих конструкций не позволяло осуществлять их бездефектную распалубку. Теперь автоклавная стройиндустрия выпускает только мелкоштучные изделия марок D300…600, потери которых при транспортировании и укладке достигают 10–15 %. Стены зданий стали многослойными. Отсутствие учета паропроницаемости слоев через несколько лет эксплуатации приводит к появлению плесени внутри помещений и фрагментарному отслоению наружной кирпичной кладки в местах сопряжений фрагментов стен с разным сопротивлением теплопередаче [13].

Проблемы недостаточной трещиностойкости и ограниченной прочности на растяжение ячеистых бетонов были поставлены практикой ещё в прошлом веке [14–16]. Эти проблемы чрезвычайно актуальны для тектонически-активных регионов потому, что применение газонаполненных бетонов позволяет существенно снижать массу ограждающих строительных конструкций и, таким образом, повышать сейсмоустойчивость и безопасность зданий. Тем не менее, применение автоклавного газосиликата пока не имеет обширной практики. Причиной ограниченного интереса строителей к этому материалу является его малая трещиностойкость.

[1] Пинскер В.А., Вылегжанин В.П. История и опыт строительства из пенобетона. ООО «Стройбетон» [сайт]. 2011. URL: https://www.ibeton.ru/articles/stroitelstvo-iz-penobetona/istoriya-i-opyt-stroitelstva-iz-penobetona/?ysclid=lmhpzs5u4l317298173 (дата обращения: 11.06.2023).

В настоящее время строительный комплекс РФ может пользоваться результатами экспериментально-теоретических разработок технологии пенобетонов дисперсно армированных синтетическими волокнами [16, 17]. Этот вид газонаполненного бетона отличается от равноплотного автоклавного газосиликата рядом технологических особенностей изготовления [18] и, как следствие, эксплуатационными свойствами [19], перечень и величина которых выгодно отделяет его от автоклавного газосиликата.

К перечню важнейших преимуществ фибропенобетонов относят:

– повышенную устойчивость к действию открытого огня [20];

– вязко-пластичный характер разрушения под действием ударных и изгибающих нагрузок [20].

Тем не менее, до настоящего времени не накоплено достаточного объема научной информации, практическое использование которой позволит проектировщикам успешно закладывать этот материал в проектные решения и, таким образом, способствовать практическому повышению сейсмоустойчивости зданий. Поэтому целью настоящего исследования является пополнение существующих знаний о взаимосвязи между видом дисперсной арматуры, используемой для повышения трещиностойкости пенобетона, её длиной и параметрами его предельной деформативности. Поскольку, по нашему мнению, величина предельной растяжимости материала под действием нагрузок может влиять на эксплуатационные свойства материала в конструкции.

Материалы и методы. В качестве вяжущего использовали рядовой портландцемент типа ЦЕМI 32,5. Заполнитель — песок речной фракции мельче 0,315 мм, пенообразователь «Lumorol – 1510», вода водопроводная. Соотношение между цементом и песком было принято Ц:П= 1:1. Расход фибры составлял 1 % от массы заполнителя. В качестве фибры использовали волокна длиной 12 и 18 мм следующей вещественной природы:

– полипропиленовую (ПП) с модулем упругости 8000 МПа, прочностью на растяжение 600 МПа, предельной растяжимостью до 20 % и диаметром 0,020 мм.;

– полиамидную (ПА) с модулем упругости 10000 Мпа, прочностью на растяжение 1200 Мпа, предельной растяжимостью 15 % и диаметром 0,018 мм;

– полиакрилонитрильную (ПАН) с модулем упругости 6000 Мпа, прочностью на растяжение 450 Мпа, предельной растяжимостью 26 % и диаметром 0,024 мм.

За контрольный был принят равноплотный пенобетон без фибры. Пено- и ФПБ-смеси изготовляли по одностадийной технологии в смесителе турбулентного типа. Для получения экспериментальных данных формовали образцы кубы с ребром 100 мм и образцы-балки размерами 40×40×160 мм и 100×100×305 мм.

Все образцы твердели в нормальных условиях, после чего подвергались испытаниям в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012. Величину механических свойств бетонов устанавливали на испытательном прессе «Matest S-205». Автоматический контроль хода механических испытаний осуществляли в координатах «нагрузка-деформации». В ходе выполнения эксперимента все разновидности изготовленных бетонов относились к плотности D700, то есть являлись конструкционно-теплоизоляционными (таблица 2).

Результаты исследования. Данные, приведенные в таблице 2, отражают тот факт, что прочность при сжатии всех видов пенобетонов конструкционно-теплоизоляционного назначения различается весьма несущественно. Расчетный диапазон колебаний установленных величин составил 0,7–3 % и не является значимым при использовании полученных данных в проектировании сейсмостойких зданий.

Анализ результатов по величине прочности на растяжение при изгибе отражает влияние механических и физических свойств фибры на эксплуатационные свойства получаемого газонаполненного бетона. Из данных, приведенных в таблице 2 следует, что влияние длины всех видов синтетической дисперсной арматуры проявлено четко. Все испытанные образцы, дисперсно армированные более длинной фиброй, обладали и большей прочностью на растяжение при изгибе. Важно отметить, что чем выше механические свойства использованной фибры, тем лучшие показатели прочности на растяжение при изгибе продемонстрировали испытанные пенобетоны.

Экспериментально установлено, что при прочих равных условиях, сопротивление растяжению при изгибе у ФПБ с полиамидной фиброй на 10,9–12,2 % выше, чем у равноплотного материала дисперсно армированного полиакрилонитрилом и не менее чем на 250 % больше контрольного. Пенобетоны дисперсно армированные полипропиленом показали промежуточные результаты. Если сравнивать информацию о полученных механических свойствах композитов с индивидуальными свойствами фибры, то следует признать, что свойства ФПБ хорошо коррелируют с величинами модулей упругости и предельной растяжимостью волокнистых компонентов сырья.

У фибры ПАН модуль упругости всего 6000 Мпа и предельная растяжимость достигает 26 %, а у фибры ПА модуль упругости более чем в 1,5 раза выше и предельная растяжимость во столько же раз меньше. Тем не менее, модуль упругости и предельная растяжимость всех видов фибры существенно превышают эти же показатели контрольного бетона. Полученный результат отражает меру и характер влияния всех видов фибры на распределение напряжений в твердой фазе газонаполненного бетона при действии на него нагрузок.

Таблица 2

Свойства исследованных пено- и фибропенобетонов

Вид и длина фибры	Размеры образцов, мм	Средняя плотность, кг/м^3	Прочность, МПа		Деформации при появлении первой трещины в растянутой зоне, мм/м
			на сжатие	растяжение при изгибе	
ПП длиной 18 мм	160×40×40	726	–	1,38	0,51
	305×100×100	718	–	0,95	0,50
	100×100×100	721	2,69	–	–
ПП длиной 12 мм	160×40×40	725	–	1,17	0,49
	305×100×100	715	–	0,92	0,46
	100×100×100	716	2,70	–	–
ПА длиной 18 мм	160×40×40	728	–	1,44	0,53
	305×100×100	739	–	1,07	0,52
	100×100×100	732	2,79	–	–
ПА длиной 12 мм	160×40×40	719	–	1,22	0,51
	305×100×100	714	–	1,05	0,52
	100×100×100	712	2,80	–	–
ПАН длиной 18 мм	160×40×40	725	–	1,25	0,44
	305×100×100	729	–	0,73	0,42
	100×100×100	730	2,74	–	–
ПАН длиной 12 мм	160×40×40	726	–	1,09	0,43
	305×100×100	724	–	0,66	0,42
	100×100×100	722	2,74	–	–
Пенобетон без фибры	160×40×40	730	–	0,487	0,36
	305×100×100	728	–	0,306	0,35
	100×100×100	736	2,72	–	–

Если рассматривать свойства полученных ФПБ с позиций целесообразности их применения в сейсмостойком строительстве, то важно отметить следующее:

– ФПБ изготовляют из дисперсного сырья, которое после технологической переработки в бетон и при воздействии на него нагрузок, превышающих его прочность, обладает вязким характером разрушения [12–15, 20]. Поэтому в чрезвычайных ситуациях (землетрясениях, взрывах) такой материал обильным трещинообразованием предупреждает о приближении разрушения;

– предельная растяжимость всех видов исследованных ФПБ на 20–48 % превышает этот показатель у контрольного равноплотного пенобетона (таблица 2), поэтому можно прогнозировать, что строительные конструкции из него при толчках малой интенсивности будут получать существенно меньшее количество повреждений, следовательно, его применение обеспечит повышение безопасности эксплуатации зданий;

– снижение массы строительных конструкций за счет применения ФПБ корреляционно уменьшит размер сейсмических сил, учитываемых при проектировании сейсмоустойчивых сооружений;

– разрушение строительных конструкций из ФПБ может иметь не крупнообломочный характер, а выкрашивание из них твердых частиц размером в несколько мм, которые не способны приводить к летальному исходу живых организмов.

Заключение. Выполненные исследования показали, что свойства материалов, применяемых для возведения зданий в сейсмоопасных регионах влияют на сейсмоустойчивость и безопасность эксплуатации строительных сооружений. Поэтому индивидуальные физико-механические свойства и геометрические параметры фибры, применяемой для дисперсного армирования пенобетонов, могут быть важными инструментами влияния на эксплуатационные свойства строительных конструкций из пенобетонов.

Экспериментально установлено, что рост длины фибры в исследованном диапазоне размеров способствует не только повышению прочности бетонов на растяжение при изгибе, но и их предельной растяжимости. Бетоны, обладающие высокой предельной растяжимостью, являются более трещиностойкими и безопасными при воздействии на них чрезвычайных и сейсмических нагрузок.

Модуль упругости и предельная растяжимость синтетических волокон являются важными факторами влияния на сейсмоустойчивость бетонов. Чем больше предельная растяжимость отдельного вида синтетической фибры, тем меньшим по величине может быть технический эффект от её использования в бетоне. Поэтому, если для повышения сейсмоустойчивости строительных конструкций планируется применение дисперсно армированных пенобетонов, то их следует изготовлять с использованием полиамидной фибры длиной не менее 18 мм.

Список литературы

1. Дебиева И.И. К анализу инновационных возможностей Чеченской республики в сфере материального производства. В: *Современная экономика: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXXVII Международной научно-практической конференции, Пенза, 25 ноября 2020 года.* Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.); 2020. С. 91–97.

2. Донченко О.М., Карпович Н.А. Широкое применение конструкционно-теплоизоляционных бетонов – приоритетное направление снижения материалоемкости и повышения эффективности капитального строительства. *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова.* 2014(2):53–54.

3. Архиреева И.Г., Заалишвили З.В. Об экономических аспектах последствий сильного землетрясения. *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений.* 2013(6):15–18. URL: http://www.seismoconstruction.ru/articles/ob_ekonomicheskikh_aspektakh_posledstviy_silnogo_zemletryaseniya/ (дата обращения: 07.06.2023).

4. Мкртычев О.В., Дорожинский В.Б., Сидоров Д.С. Исследование сейсмостойкости железобетонных зданий различных конструктивных схем. *Вестник МГСУ.* 2015;10(12):66–75. URL: https://www.vestnikmgsu.ru/jour/issue/viewIssue/92/89 (дата обращения: 15.06.2023).

5. Панасюк Л.Н., Кравченко Г.М. Расчет каркаса монолитного здания на прогрессирующее разрушение с учетом динамических эффектов. В: *Строительство – 2015: современные проблемы строительства: материалы международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 16–17 мая 2015 года.* Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВПО Ростовский государственный строительный университет; 2015. С. 456–459.

6. Costanzo S., D'Aniello M., Landolfo R. Seismic Design Criteria for Chevron CBFs Proposals for the Next EC8 (part 2). *Journal of Constructional Steel Research*. 2017;138:17–37. https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2017.06.028

7. Шаторная А.М., Тарасов В.А., Барабаш А.В., Жувак О.В., Рыбаков В.А. Российские и зарубежные нормы сейсмического проектирования зданий и сооружений. *Alfabuild.* 2018;4(6):92–114. URL: https://alfabuild.spbstu.ru/article/2018.6.9/ (дата обращения: 15.06.2023).

8. Bojórquez J., Ruiz S. E., Ellingwood B., Reyes-Salazar A., Bojórquez E. Reliability-Based Optimal Load Factors for Seismic Design of Buildings. *Engineering Structures*. 2017;151:527–539. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.08.046

9. Гладкий А.В., Топчиев А.Г., Димова Н.В., Шашеро А.Н., Яворская В.В., Нефедова Н.Е. и др. *Города и люди: актуальные проблемы урбанистики и социального развития.* Новосибирск: Ассоциация научных сотрудников «Сибирская академическая книга», 2015. 198 с.

10. Зейферт М.Г. *Архитектура Рима: преемственность и стили*. Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та; 2016. 230 с.

11. Левченко В.Н. Основные направления деятельности Национальной Ассоциации Производителей Автоклавного Газобетона. В: *Сборник трудов международной научно-практической конференции «Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения»*, Минск, 26–28 мая 2010 года. Минск: Стринко; 2010. С. 25–26.

12. Ruan S., Unluer C. Influence of Mix Design on the Carbonation, Mechanical Properties and Microstructure of Reactive MgO Cement-Based Concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2017;80:104–114. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.03.004

13. Избицкая Ю.С., Калошина С.В., Золотозубов Д.Г. Анализ дефектов и методы ремонта лицевого слоя кирпичной кладки многослойных стен на примере жилого дома в г. Перми. Construction and Geotechnics, 2019;10(4):40–50. https://doi.org/10.15593/2224-9826/2019.4.04

14. Лобанов И.А., Пухаренко Ю.В., Моргун Л.В. Особенности структуры и свойства безавтоклавных ячеистых бетонов, армированных синтетическими волокнами. *Бетон и железобетон*. 1983(9):12–14.

15. Лобанов И.А. *Основы технологии дисперсно армированных бетонов.* Автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. Наук. Ленинград; 1982. 34 с.

16. Пухаренко Ю.В. Реставрация и строительство: потенциал фиброармированных материалов и изделий. *Современные проблемы науки и образования.* 2012;(4):359 URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=6582 (дата обращения: 30.11.2022).

17. Кадомцева Е.Э., Моргун Л.В., Бескопыльная Н.И., Моргун В.Н., Бердник Я.А. Исследование влияния бимодульностифибропенобетона на прочность армированных балок. *Строительные материалы.* 2017(5):52–55.

18. Моргун В.Н., Моргун Л.В. Свойства пенобетонов при их дисперсном армировании полипропиленовыми и углеродными волокнами. Строительные материалы. 2022(9):50–54. https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-806-9-50-54

19. Моргун В.Н., Моргун Л.В. Обоснование одного из методов совершенствования структуры пенобетонов. *Строительные материалы.* 2018(5):24–26. https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-759-5-24-26

20. Моргун Л.В., Благородова Н.В., Бинь Ле. Повышение пожарной безопасности строительных конструкций. В: *Сб. тр. «Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго- и ресурсосбережение»*. Вып. VIII, Ростов-на-Дону – Шепси, 2006. С. 468–470.

References

1. Debieva II. To Analyze the Innovative Opportunities of the Chechen Republic in the Field of Material Production. In: *Sovremennaya Ehkonomika: Aktual'nye Voprosy, Dostizheniya i Innovatsii: Proceedings of the XXXVII International Scientific Conference*. Penza: Nauka i Prosveshchenie Publ. (Individual Entrepreneur Gulyaev G.Yu.); 2020. P. 91–97. (In Russ.)

2. Donchenko OM, Karpovich NA. Shirokoe Primenenie Konstruktsionno-Teploizolyatsionnykh Betonov – Prioritetnoe Napravlenie Snizheniya Materialoemkosti i Povysheniya Ehffektivnosti Kapital'nogo Stroitel'stva. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2014(2):53–54. (In Russ.)

3. Arkhireeva IG, Zaalishvili ZV. About Impact on Economic After a Strong Earthquake. *Earthquake Engineering. Constructions Safety*. 2013(6):15–18. (In Russ.) URL: http://www.seismoconstruction.ru/articles/ob_ekonomicheskikh_aspektakh_posledstviy_silnogo_zemletryaseniya/ (accessed 07.06.2023).

4. Mkrtychev OV, Dorozhinskii VB, Sidorov DS. The History and Development Prospects of One of the Methods for Solving Multidimensional Problems of Structural Mechanics. *Vestnik MGSU*. 2015;10(12):66–75. (In Russ.) URL: https://www.vestnikmgsu.ru/jour/issue/viewIssue/92/89 (accessed: 15.06.2023).

5. Panasyuk LN, Kravchenko GM. Raschet karkasa monolitnogo zdaniya na progressiruyushchee razrushenie s uchetom dinamicheskikh ehffektov. In: *Stroitel'stvo – 2015: Sovremennye Problemy Stroitel'stva: Proceedings of the International Science and Practical Conference. Rostov-on-Don, 16–17 May, 2015*. Rostov-on-Don: FSBEI of HVE Rostov State Civil Engineering University; 2015. P. 456–459. (In Russ.)

6. Costanzo S, D'Aniello M, Landolfo R. Seismic Design Criteria for Chevron CBFs Proposals for the Next EC8 (part 2). *Journal of Constructional Steel Research*. 2017;138:17–37. https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2017.06.028

7. Shatornaya AM, Tarasov VA, Barabash AV, Zhuvak OV, Rybakov VA. Russian and Foreign Standards of Seismic Design of Buildings and Structures. Alfabuild. 2018;4(6):92–114. (In Russ.). URL: https://alfabuild.spbstu.ru/article/2018.6.9/ (accessed: 15.06.2023).

8. Bojórquez J, Ruiz SE, Ellingwood B, Reyes-Salazar A, Bojórquez E. Reliability-Based Optimal Load Factors for Seismic Design of Buildings. *Engineering Structures*. 2017;151:527–539. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.08.046

9. Gladkii AV, Topchiev AG, Dimova NV, Shashero AN, Yavorskaya VV, Nefedova NE, et al. *Goroda i Lyudi: Aktual'nye Problemy Urbanistiki i Sotsial'nogo Razvitiya*. Novosibirsk: Assotsiatsiya Nauchnykh Sotrudnikov "Sibirskaya Akademicheskaya Kniga" Publ.; 2015. 198 p. (In Russ.)

10. Zeifert MG. *Arkhitektura Rima: Preemstvennost' i Stili*. Kazan: Kazan State University of Architecture and Engineering; 2016. 230 p. (In Russ.)

11. Levchenko VN. Osnovnye Napravleniya Deyatel'nosti Natsional'noi Assotsiatsii Proizvoditelei Avtoklavnogo Gazobetona. In: Proceedings of the International Science and Practical Conference "Opyt Proizvodstva i Primeneniya Yacheistogo Betona Avtoklavnogo Tverdeniya". Minsk, 26–28 May, 2010. Minsk: Strinko Publ.; 2010. P.25–26. (In Russ.)

12. Ruan S, Unluer C. Influence of Mix Design on the Carbonation, Mechanical Properties and Microstructure of Reactive MgO Cement-Based Concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2017;80:104–114. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.03.004

13. Izbitskaya YuS, Kaloshina SV, Zolotozubov DG. The Analysis of Defects and Repair Methods of the Front Layer of Brickwork of Multilayer Walls on the Example of a Residential Building in Perm. *Bulletin of PNRPU. Construction and Architecture*. 2019;10(4):40–50. (In Russ.) https://doi.org/10.15593/2224-9826/2019.4.04

14. Lobanov IA, Pukharenko YuV, Morgun LV. Osobennosti Struktury i Svoistva Bezavtoklavnykh Yacheistykh Betonov, Armirovannykh Sinteticheskimi Voloknami. *Beton i Zhelezobeton*. 1983(9):12–14. (In Russ.)

15. Lobanov IA. *Osnovy Tekhnologii Dispersno Armirovannykh Betonov*. Extended Abstract of Dr.Sci. (Engineering) Dissertation. Leningrad; 1982. 34 p. (In Russ.)

16. Pukharenko YuV. Restoration and Building: Capacity Fibroarmirovannyh Materials and Products. *Modern Problems of Science and Education*. 2012;(4).359. (In Russ.). URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=6582 (accessed: 30.11.2022).

17. Kadomtseva EEh, Morgun LV, Beskopyl'naya NI, Morgun VN, Berdnik YaA. Research in Influence of Bi-Modularity of Fiber Foam Concrete on Strength of Reinforced Beams. *Stroitel'nye materialy*. 2017;(5):52–55. (In Russ.)

18. Morgun VN, Morgun LV. Properties of Foam Concrete During Their Dispersed Reinforcement with Synthetic and Carbon Fibers. *Stroitel'nye materialy*. 2022(9):50–54. (In Russ.) https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-806-9-50-54

19. Morgun VN, Morgun LV. Substantiation of One of the Methods for Improving the Structure of Foam Concretes. *Stroitel'nye materialy*. 2018;(5):24–26. (In Russ.). https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-759-5-24-26

20. Morgun LV, Blagorodova NV, Bin' Le. Povyshenie Pozharnoi Bezopasnosti Stroitel'nykh Konstruktsii. In: *Tekhnosfernaya Bezopasnost', Nadezhnost', Kachestvo, Ehnergo- i Resursosberezhenie. Issue VIII*. Rostov-on-Don – Shepsi; 2006. P. 468–470. (In Russ.)

Поступила в редакцию 26.06.2023
Поступила после рецензирования 12.08.2023
Принята к публикации 20.08.2023

Об авторах:

Моргун Любовь Васильевна, профессор кафедры «Строительные материалы» инженерно-строительного факультета, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ScopusID, ORCID, konst-lvm@yandex.ru

Порохня Аксинья Сергеевна, ассистент кафедры «Строительные материалы» инженерно-строительного факультета, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), магистр техники и технологии по направлению «Строительство», ORCID, baturaaksina@gmail.com

Заявленный вклад соавторов:

Л.В. Моргун — формирование концепции, цели и задач исследования, планирования и проведения экспериментальных исследований, анализ результатов, подготовка текста, формирование выводов.

А.С. Порохня — участие в подготовке материальной базы исследований, формовании образцов и анализе полученных результатов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

Received 26.06.2023
Revised 12.08.2023
Accepted 20.08.2023

About the Authors:

Lyubov V. Morgun, Dr.Sci.(Engineering), professor of the Building Materials Department of the Civil Engineering Faculty, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ScopusID, ORCID, konst-lvm@yandex.ru

Aksinya S. Porokhnya, M.Sci. in Engineering and Technology (Civil Engineering), assistant of the Building Materials Department of the Civil Engineering Faculty, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, baturaaksina@gmail.com

Claimed contributorship:

LV Morgun — formulating the concept, goals and objectives of the research, planning and conducting the experimental research, analysis of the results, preparing the text, formulating the conclusions.

AS Porokhnya — participation in preparing the material resources for the research, manufacturing the samples and analysing the results.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.